

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы				
Исследование каталитической активности высокодисперсных порошков железа в синтезе Фишера-Тропша				

УДК 665.652.72:669.11-026.771

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Лисовская Любовь Анатольевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попок Евгений Владимирович	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент отделения общетехнических дисциплин	Немцова Ольга Александровна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения химической инженерии	Юрьев Егор Михайлович	К.Т.Н.		

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ООП 18.03.02)

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,14,16,17,18), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11 ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать энерго- и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго- и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,7,10,12,13,14,17 ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11), Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки (специальность) 18.03.02. «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» (Основные процессы химических производств и химическая кибернетика)
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2К4А	Лисовская Любовь Анатольевна

Тема работы:

Исследование каталитической активности высокодисперсных порошков железа в синтезе Фишера-Тропша	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№1489/с от 05.03.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Электровзрывные катализаторы на основе железа для синтеза углеводородного сырья из (CO + H₂), полученные в атмосфере различных газов (CO, CO₂, N₂).</p> <p>Каталитическая установка, работающая при повышенном давлении.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с</i></p>	<p>Аналитический обзор по использованию нетрадиционных катализаторов (электровзрывных, плазмохимических) в синтезе углеводородного сырья. Обзор реализованных в промышленности</p>

целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	технологий синтеза углеводов из СО и Н ₂ . <ul style="list-style-type: none"> исследование каталитической активности образцов катализатора в различных технологических условиях; Определение общей степени конверсии монооксида углерода. качественный и количественный анализ полученных жидких продуктов синтеза методом хроматографии;
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Конструкции реакторных устройств, реализованных в промышленности

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, к.э.н, Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Ассистент, Немцова Ольга Александровна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.01.2018 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Попок Е.В.	к.т.н., доцент		15.01.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Лисовская Л.А.		15.01.2018

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2К4А	Лисовской Любови Анатольевне

Школа	ИШПР	Отделение	Химическая инженерия
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности исследования каталитической активности УДП железа в синтезе Фишера-Тропша</i>
Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):	
<div>1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i></div> <div>2. <i>Матрица SWOT</i></div> <div>3. <i>График проведения НТИ</i></div> <div>4. <i>Определение бюджета НТИ</i></div> <div>5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i></div>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Лисовская Любовь Анатольевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2К4А	Лисовской Любви Анатольевне

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – железный электровзрывной катализатор синтеза Фишера-Тропша. Материал – железный порошок, приготовленный методом электрического взрыва из проволоки стальной марки Св–08А (ГОСТ 2246-70). Приборы – каталитическая установка «Катакон», ПК, хроматографические комплексы «Хроматэк-Кристалл 5000.1»; и «Хроматэк-Кристалл 5000.2» для анализа газообразных и жидких углеводородов. Методика – синтез-газ при повышенных температуре и давлении подаётся в лабораторный реактор; состав продуктов изучают методом капиллярной хроматографии. Рабочая зона – лабораторное помещение отделения химической инженерии ТПУ. Область применения – химическая промышленность, использующая GTL технологии.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 	1.1. Анализ возникающих вредных факторов: <ol style="list-style-type: none"> 1. Вредные вещества; 2. Отклонения показателей микроклимата в помещении; 3. Повышенный уровень электромагнитных излучений; 4. Недостаточная освещённость рабочей зоны. 5. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 6. Повышенный уровень вибрации 1.2. Анализ возникающих опасных факторов: <ol style="list-style-type: none"> 1. Поражение электрическим током; 2. Пожаро- и взрывоопасность; Микроклимат и содержание вредных веществ по ГОСТ 12.1.005–88; Измерение шума на рабочем месте по ГОСТ
---	---

<p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>12.1.003 –2014; Измерение вибрации по ГОСТ Р 12.1.012-90; Недостаточная освещенность по СНиП 23-05-95; Опасность поражения электрическим током по ГОСТ Р 12.1.019-2009; Опасность взрыва и пожара по ГОСТ 12.1.010–76;</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); 	<p>При синтезе углеводородов методом Фишера-Тропша на лабораторной каталитической установке возможны вредные воздействия на воздушную среду (выброс газов – CO, H₂, углеводородных газов). Во избежание чрезмерного загрязнения воздуха используется минимальный расход синтез-газа. Сбросы жидких и твердых отходов отсутствуют.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>3.1 Вероятные чрезвычайные ситуации: Разрыв трубопроводов на каталитической установке, возгорание продуктов синтеза, возникновение пожара на рабочем месте.</p> <p>3.2 Мероприятия по предотвращению возникновения чрезвычайных ситуаций: Противопожарная защита. В случае возникновения ЧС предусмотрены первичные средства пожаротушения: огнетушители ОХП-10 и ОУ-5 для тушения электрооборудования.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Правовые нормы трудового законодательства, регулирующие соблюдение безопасности при работе в производственных помещениях. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014)</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова Ольга Александровна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Лисовская Любовь Анатольевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 76 с., 13 рис., 30 табл., 36 источников.

Ключевые слова: синтез жидких углеводородов, ультрадисперсные порошки железа, метод электрического взрыва, процесс Фишера-Тропша.

Объектом исследования является ультрадисперсный порошок железа, полученный электрическим взрывом проводника в среде монооксида углерода.

Цель работы – изучение каталитической активности ультрадисперсного порошка железа, полученного методом электрического взрыва проводника в среде монооксида углерода, в синтезе жидких углеводородов (синтез Фишера-Тропша).

Методика проведения испытаний: полученный методом электрического взрыва ультрадисперсный порошок был подвергнут прессованию с поливиниловым спиртом с использованием матрицы Пуансона; полученные образцы катализатора тестировались на лабораторной установке; жидкие продукты синтеза изучались на капиллярном газовом хроматографе.

В ходе исследования проводились серии опытов с предварительным восстановлением катализатора в токе водорода (температура 220-240 °С) и без восстановления (температура 250-270 °С) с целью получения результатов о влиянии условий проведения синтеза на активность катализатора, состав и свойства продуктов.

В результате исследования были получены данные об активности катализатора на основе ультрадисперсного порошка железа в различных условиях протекания процесса и составе продуктов синтеза.

Область применения – химическая промышленность, выпускающая продукцию по методу Фишера-Тропша или иное производство, использующее GTL-технологии.

Оглавление

Введение.....	11
1 Литературный обзор	12
1.1 Теоретические сведения.....	12
1.3 Реакторы синтеза Фишера-Тропша.....	21
1.3.1 Трубчатые реакторы	21
1.3.2 Сларри-реакторы	24
1.3.3 Реакторы с циркулирующим и стационарным псевдоожиженным слоем	26
2 Экспериментальная часть.....	30
2.1 Объект и методы исследования	30
2.2 Аппаратурное оформление исследований.....	32
2.3 Проведение эксперимента.....	35
2.4 Результаты и обсуждения.....	Ошибка! Закладка не определена.
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	37
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований	37
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	37
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений	38
3.1.3 SWOT-анализ.....	39
3.2 Планирование научно-исследовательской работы	43
3.2.1 Структура работы в рамках научного исследования	43
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	44
3.2.3 Бюджет научно-технического исследования	48
3.3 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	51
4 Социальная ответственность	54
4.1 Производственная безопасность.....	54
4.1.1 Анализ вредных факторов.....	54
4.1.1.1 Вредные вещества	54

4.1.1.2 Отклонение показателей микроклимата в помещении	56
4.1.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	58
4.1.1.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны	59
4.1.1.5 Повышенный уровень шума на рабочем месте	60
4.1.1.6 Повышенный уровень вибрации	60
4.1.2 Анализ опасных факторов.....	61
4.1.2.1 Электробезопасность	61
4.1.2.2 Пожаробезопасность.....	63
4.2 Экологическая безопасность.....	64
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	65
4.3.1 Анализ возможных чрезвычайных ситуаций при работе в лаборатории	65
4.3.2 Меры по предотвращению возникновения чрезвычайных ситуаций.....	66
4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	67
Заключение	68
Список публикаций студента.....	69
Список литературы	70

Введение

Постоянное ужесточение экологических требований в отношении нефтедобывающих предприятий обуславливает поиск и развитие технологий, позволяющих перерабатывать попутные нефтяные газы в ценные химические продукты и высококачественные топлива (Gas to liquid processes, GTL). Не менее важным вопросом в условиях поиска альтернативных источников энергии является переработка твердых горючих ископаемых и биомассы в жидкие топлива. Синтез Фишера-Тропша (синтез жидких углеводородов из смеси оксида углерода и водорода) является основной стадией переработки альтернативных источников углеводородов (попутного газа, угля, биомассы и т.д.) при получении в получении топливных фракций. Данная стадия является важнейшей для всего процесса, так как определяет выход и состав образующихся углеводородов, а так же необходимость и способ их облагораживания.

В синтезе жидких углеводородов катализатор представляет собой наиболее важную и дорогостоящую часть производства. Огромное значение имеет способ его приготовления. Так, катализаторы, приготовленные электрическим взрывом проводника (ЭВП), характеризуются высокой удельной поверхностью и колоссальным запасом свободной энергии.

Следовательно, цель данной работы заключалась в изучении активности высокодисперсного порошка железа, полученного методом электрического взрыва проводника. Учитывая цель, были сформулированы следующие задачи: приготовить катализатор методом ЭВП с дальнейшим прессованием и дроблением, изучить влияние условий на синтез, а также проанализировать состав конечных продуктов.

1 Литературный обзор

1.1 Теоретические сведения

Синтез Фишера-Тропша (ФТ), направленный на превращение синтез – газа (смеси $\text{H}_2 + \text{CO}$) в синтетическое моторное топливо, был открыт в 1926г. и реализован в промышленности Германии. В 1940-е гг. фирма Rurchemie создала ряд промышленных технологических схем на основе процесса Фишера – Тропша при атмосферном и повышенном давлении [1-3]. Процесс проводился при нормальном (0,1 МПа) либо повышенном (1-2 МПа) давлении. Типичные катализаторы процесса – Ni, Co, Fe и Ru [4]. В качестве реакторов применялись аппараты с неподвижным слоем катализатора, которые, несмотря на сравнительную сложность конструкции, оказались наиболее приспособленными для проведения таких сильно экзотермических реакций, как синтез CO и H_2 и позволяли достаточно надежно управлять процессом [5]. На рис.1 приведена принципиальная схема синтеза Фишера-Тропша при нормальном давлении [6].

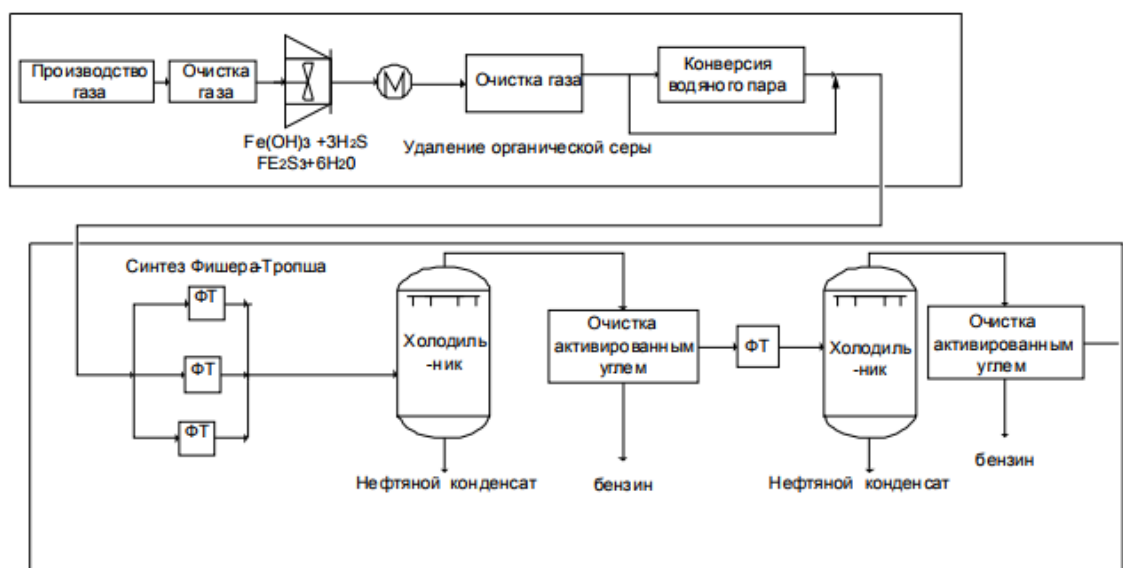


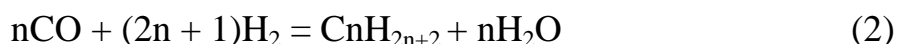
Рисунок 1 – Принципиальная схема синтеза ФТ при атмосферном давлении.

Выделенный из продуктов газификации синтез-газ главным образом используется в синтезе Фишера-Тропша, который можно рассматривать как восстановительную олигомеризацию оксида углерода [7]:



Конечными продуктами в общем случае являются алканы, алкены и кислородсодержащие соединения.

Наиболее часто данная реакция используется для получения линейных алканов:



Побочными реакциями синтеза углеводородов из CO и H₂ являются:

а) гидрирование оксида углерода до метана:



б) диспропорционирование CO (реакция Белла–Будуара):



в) равновесие водяного газа



Во всем интервале температур, применяемых для синтеза парафинов из CO+H₂, возможно протекание вторичных процессов: образование низших алкенов и спиртов, гидрирование алкенов, дегидрирование спиртов, частичный гидрокрекинг первичных алканов, перераспределение водорода и др. [7,9].

Из CO и H₂ термодинамически возможно образование углеводородов любой молекулярной массы, типа и строения, кроме ацетилена [7]. В области температур 50–350 °С наиболее вероятно образование метана. Вероятность образования нормальных алканов уменьшается, а нормальных алкенов возрастает с увеличением длины цепи. Повышение общего давления в системе способствует образованию более тяжелых продуктов, а увеличение парциального давления водорода в синтез-газе благоприятствует образованию алканов.

Гидрирование оксида углерода в процессе ФТ представляет собой комплекс сложных, параллельных и последовательных реакций. Первая стадия

– одновременная хемосорбция монооксида и водорода на катализаторе. Оксид углерода в этом случае соединяется углеродным атомом с металлом, вследствие чего ослабевает связь C–O и облегчается взаимодействие CO и H₂ с образованием первичного комплекса [7]. С этого комплекса и начинается рост углеводородной цепи. В результате дальнейшего ступенчатого присоединения поверхностного соединения, несущего один углеродный атом, углеродная цепочка удлиняется. Рост цепи заканчивается в результате десорбции, гидрирования или взаимодействия растущей цепочки с продуктами синтеза.

Основные продукты этих реакций – насыщенные и ненасыщенные углеводороды алифатического ряда, а также – спирты, альдегиды и кетоны. Реакционноспособные соединения (ненасыщенные углеводороды, альдегиды, спирты и др.) могут при последующих реакциях встраиваться в растущие цепи или образовывать поверхностный комплекс, дающий начало цепи. В дальнейшем реакции между образующимися продуктами приводят к кислотам, эфирам и т.д.; реакции дегидроциклизации, протекающие при более высоких температурах синтеза, приводят к ароматическим углеводородам [7].

1.2 Катализаторы процесса

Множество современных исследований посвящено осуществлению селективного синтеза Фишера-Тропша, в частности, синтезу линейных алканов C₁₁–C₁₈, изоалканов C₅–C₁₀, твердых линейных парафинов. В связи с этим одной из основных задач развития синтеза Фишера-Тропша является разработка катализаторов, обладающих не только высокой активностью и стабильностью, но и высокой селективностью в отношении образования углеводородных продуктов бензинового ряда [7–9].

В синтезе Фишера-Тропша наибольшей эффективностью обладают гетерогенные катализаторы, состав которых оказывает наиболее сильное влияние на молекулярно-массовое распределение продуктов синтеза [8]. Добавление соединений щелочных металлов в виде карбонатов или оксидов к

уже готовым катализаторам или в процессе их приготовления часто приводит к увеличению средней молекулярной массы продукта.

На промышленном производстве для синтеза углеводородов широко используются железные и кобальтовые катализаторы, позволяющие получать парафины среднего ряда при относительно низких температурах, тогда как высокие температуры наиболее благоприятны для синтеза олефинов и разветвленных углеводородов [10–12].

К. Cheng с соавторами [13] использовали в качестве катализатора карбид железа, нанесенный на окись кремния. Катализатор предварительно активировали в токе монооксида углерода при 350 °С. Максимальный выход углеводородов с числом атомов С от 5 до 8 (47%) был получен при температуре 300 °С, давлении 2 МПа и соотношении H_2/CO , равным 2. Конверсия синтез-газа при этих условиях достигала 76%.

Л.А. Delgado и др. [14] проводили жидкофазный процесс Фишера-Тропша в присутствии коллоидных частиц кобальта в водной среде. Максимальный выход углеводородов C_5-C_{12} (45%) был достигнут в течение 12 часов при общем давлении 3 МПа и температуре 150 °С. Концентрация наночастиц кобальта в реакционной смеси составляла 0,9 ммоль/л. Процесс проводился в присутствии аргона при объемном соотношении газов $H_2:CO:Ar_2 = 2:1:0,15$.

Т.О. Eschemann и др. [15] при проведении процесса Фишера-Тропша использовали кобальтовый катализатор, нанесенный на оксид титана, с содержанием кобальта 8% (масс.). 90% выход углеводородов C_5 был получен при конверсии оксида углерода (II), равной 36% при температуре 220 °С, давлении 2 МПа. и объемном соотношении H_2/CO , равном 2. Однако данный катализатор показал невысокую стабильность, и при повторном использовании его активность снижалась на 20%.

В исследовании [16] предполагается то, что катализаторы на основе кобальта могут быть более предпочтительными, чем катализаторы основой которых является железо. Более высокая селективность для метана, на основе кобальтовых катализаторов, компенсируется более низкой селективностью для

C_2 - C_4 , что приводит к благоприятной селективности более тяжелых углеводородов (C_{5+}).

Так, авторы [17] исследовали активность ряда катализаторов на основе $CoMnO_x$ в синтезе Фишера-Тропша. Катализаторы сравнивали с $CoMnO_x$ без носителя в тех же условиях реакции, в результате чего было показано, что использование активированного угля увеличивало как активность катализатора, так и селективность по отношению к C_{2+} - углеводородам, в то время как селективность метана и углекислого газа снижалась. Кроме того, повышение температуры термообработки предшественника катализатора от 300 до 500°C приводит к увеличению активности, а также к повышению селективности C_{2+} углеводородам, однако происходило увеличение выхода CO_2 . При температуре 600°C было отмечено снижение активности катализатора, а основным продуктом были углеводороды состава C_{5+} .

Одной из основных проблем синтеза ФТ является дезактивация катализатора. Она приводит к уменьшению производительности, потере активных центров на катализаторе, подрывая тем самым общую эффективность технологии. Установлено, что пути дезактивации катализаторов на основе кобальта в синтезе Фишера-Тропша включают в себя ряд независимых механизмов. Предполагается, что степень, в которой применяются различные механизмы, индивидуальна для каждого конкретного состава катализатора и условий эксплуатации. Механизмы дезактивации сгруппированы в соответствии с методами, используемыми для управления на типичных промышленных приложениях, которые позволяют количественно и качественно оценивать поведение катализатора [18].

В работе [19] эффект дезактивации кобальтовых катализаторов на основе диоксида кремния в синтезе Фишера-Тропша изучали с использованием метода изотопного перехода в условиях стационарного состояния системы (SSITKA). Отложение углерода приводит к уменьшению количества хемосорбированного углерода промежуточных продуктов, в результате которых образуется метан через их гидрирование и десорбцию. Каталитическое омоложение в водороде

значительно уменьшает количество осажденного углерода и частично высвобождает наиболее активные участки диссоциативной адсорбции СО. Методы изотопного перехода являются надежным инструментом для получения точной информации о механизмах дезактивации кобальтовых катализаторов в синтезе Фишера-Тропша.

Благородные металлы (рутений, рений, платина, иридий) и переходные металлы (марганец, иттрий) с соотношением 0,01 к кобальту [20] были использованы как промотеры на кобальтовых катализаторах, нанесенных на мезопористый оксид алюминия. Кобальтовый катализатор с массовой долей 15 % был испытан на синтез Фишера-Тропша в реакторе с неподвижным слоем при следующих условиях: объемная скорость подачи газа составила 900 ч^{-1} , давление примерно 2,7 МПа, температура $T=230^\circ\text{C}$, соотношение водорода и монооксида составило $\text{H}_2:\text{CO}=2:1$. Тест на селективность для промотированных и непромотированных катализаторов проводили при конверсии $\text{CO} \approx 50\%$ путем регулирования подачи синтез-газа. Было выявлено, что добавление промотеров увеличивало дисперсию кобальта. Наибольшее увеличение дисперсии с 4,7 до 7,6% [20] наблюдалось при добавлении рутения. Также промотированные катализаторы поспособствовали увеличению конверсии СО и C_{5+} . Конверсия СО увеличена примерно с 60% до 86, 84, 82, 80% в результате добавления Ru, Re, Ir, Pt соответственно. Добавление рутениевых и рениевых промотеров увеличило селективность углеводородов C_{5+} с 81,7% до 84,2 и 83,1%.

В работе [21] основное внимание уделяется каталитическим характеристикам катализатора на основе железа в синтезе Фишера-Тропша с использованием CO_2 , содержащего синтез-газ. Катализаторы были приготовлены методом начальной пропитки кремнезема раствора нитрата железа с последующим кальцинированием на воздухе. Дальнейшие исследования проводили при температуре $T=220^\circ\text{C}$, давлении $P=0,1 \text{ МПа}$, объемная скорость подачи газа – 300 ч^{-1} и соотношении $\text{H}_2:\text{CO}=0,5$ [21]. Результаты показали, что катализатор на основе железа, активированный

монооксидом более активен для гидрирования, чем водородом. Активация железного катализатора с помощью CO приводит к объединению карбида железа с оксидом. Fe_3O_4 (частично восстановленный оксид железа), как ожидается, будет присутствовать в катализаторе, предварительно обработанный монооксидом. Эта оксидная фаза позволяет проводить конверсию CO_2 в CO через обратную реакцию переноса газа (RWGS). Таким образом, катализатор на основе железа, активируемый монооксидом углерода является наиболее предпочтительным для синтеза ФТ. Различные распределения продуктов смесей H_2 -CO, H_2 - CO_2 и H_2 -CO- CO_2 обусловлены различными реакционными путями CO и CO_2 .

В публикации [22] рассматривается влияние диоксида кремния и углеродных носителей на структуру и каталитические характеристики железа для высокотемпературного синтеза Фишера-Тропша. Гематит был основной фазой железа в катализаторах на основе кальцинированного диоксида кремния, в то время как углеродсодержащие аналоги содержат магнетит. Активация катализатора в монооксиде углерода приводит к карбидизации оксидов железа главным образом карбидом железа. Более высокие значения скорости реакции Фишера-Тропша наблюдались на углеродсодержащем катализаторе, в сравнение с диоксидом кремния. Каталитическая эффективность в основном зависела от состава железной фазы, а не от ее дисперсии. Железный катализатор, нанесенный на углеродные нанотрубки и активированный уголь показали наивысшую активность в Фишере-Тропше, что можно объяснить образованием композитов карбида железа и остаточного магнетита.

Так же как и углеводороды, вода – неотъемлемый продукт ФТ. Однако ее влияние на протекание процесса неоднозначно. Так, некоторые авторы отмечают эффект окисления активного металла под воздействием H_2O [23], что обуславливает, в частности, снижение металлической поверхности кобальтового катализатора. При этом скорость окисления активной фазы прямо пропорциональна парциальному давлению воды. Казалось бы, уменьшение металлической поверхности должно было бы привести к потере каталитической

активности. Однако, добавление воды в сырьё не только не дезактивирует кобальтовый катализатор, но и может привести к повышению его активности и селективности в отношении образования целевых продуктов синтеза – жидких углеводородов. Возможно, вода препятствует сильному взаимодействию металл–носитель в катализаторах на основе таких носителей, как TiO_2 , или, наоборот, способствует образованию смешанных оксидов кобальта и носителя, входящих в состав активных центров некоторых катализаторов синтеза Фишера–Тропша, как, например, Co/SiO_2 или $\text{Co/Al}_2\text{O}_3$. С другой стороны, гидротермальная обработка кобальтового катализатора процесса ФТ может привести к потере его активности. Например, причина дезактивации $\text{Co-ZrO}_2/\text{SiO}_2$ при высоком парциальном давлении паров воды объясняется формированием неактивного гидросиликата кобальта [23]. Отрицательное влияние оказывает вода и на катализаторы на основе оксида алюминия, что связано с появлением неактивной фазы CoAl_2O_4 , а это более термодинамически вероятно в условиях ФТ, чем образование активной фазы CoO_x [23]. Такое различие данных о влиянии воды на активность кобальтовых катализаторов объясняется, скорее всего, применением разных носителей, промоторов, соединений кобальта и методов приготовления катализаторов. Помимо воздействия на катализатор синтеза Фишера–Тропша и изменения его активности и селективности в целевой реакции, вода может также принимать участие в побочной реакции водяного газа. Она экзотермична ($\Delta H = -40$ кДж/моль) и интенсивно протекает на металлических активных центрах практически во всех процессах с участием CO и H_2 (например, при синтезе метанола, высших спиртов, диметилового эфира, синтеза ФТ). Понижение температуры благоприятно сказывается на ее термодинамике, однако скорость реакции водяного газа становится существенной при $T > 180\div 200$ °C [23], поэтому она вносит особенно большой вклад в ФТ на железных катализаторах, протекающий при более высоких температурах по сравнению с синтезом на кобальтовых системах. При $T > 800$ °C реакция проходит в объеме по цепному механизму, чему способствует значительное снижение энергии активации при

$T = 400\div 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P > 1,5\text{ МПа}$. В реакции водяного газа проявляют активность как восстановленные металлические центры и оксиды металлов, так и соединения металлов с носителями, например шпинели и даже карбиды [23]. Следует подчеркнуть, что промышленное внедрение синтеза Фишера-Тропша зачастую затруднено по экономическим причинам. Высокая себестоимость синтез-газа и, как следствие, синтезированных углеводородов препятствует широкому распространению процесса. Одним из путей снижения себестоимости продукции является сокращение нецелевого использования синтез-газа за счет подавления побочных реакций и увеличения селективности процесса по целевым продуктам.

Адсорбция и диссоциация воды на чистых и покрытых оболочкой поверхностях $\text{Co}(1\ 0\ 0)$, $\text{Co}(1\ 1\ 0)$ и $\text{Co}(1\ 1\ 1)$ изучались с использованием расчетов теории функционала плотности [24]. Результаты показали, что молекулярная вода слабо связывается с поверхностями и может быть десорбирована. Кроме того, предварительная адсорбция кислорода увеличивает связывание воды с поверхностью и заметно уменьшает активационные барьеры диссоциации воды в OH , особенно на поверхности $\text{Co}(1\ 1\ 0)$.

Говоря о выходе продуктов, экспериментаторы [25] изучали селективность α -олефинов в синтезе Фишера-Тропша с использованием расчетов плотности функционала (DFT). Были рассчитаны соответствующие элементарные стадии от C_2 до C_6 . Результаты показали, что барьеры гидрирования и реакции дегидрирования были постоянными с различной длиной цепи, а также энергии хемосорбции α -олефинов из расчетов DFT также были очень похожи, за исключением видов C_2 . Было обнаружено, что физическое происхождение зависимости длины цепи от отношения парафины / олефины представляет собой зависимость длины цепи, как Ван-дер-Ваальсового взаимодействия между адсорбированными α -олефинами и металлическими поверхностями, так и энтропии между адсорбированными и газообразными α -олефинами.

Основываясь на проведенном обзоре, можно сделать следующие выводы: - процесс Фишера-Тропша – эффективный процесс получения жидких

углеводородов бензинового ряда; - наиболее эффективными катализаторами в синтезе Фишера–Тропша являются кобальтсодержащие и железные катализаторы; - процесс проводится в диапазоне температур 100 – 300 °С, при общем давлении в системе 1–3 МПа; - наиболее оптимальное соотношение H_2/CO для получения жидких углеводородов составляет 2:1.

1.3 Реакторы синтеза Фишера-Тропша

1.3.1 Трубчатые реакторы

Исторически первыми реакторами низкотемпературного синтеза на заводах фирмы Sasol были трубчатые реакторы, разработанные фирмой Arbeitsgemeinschaft Ruhrchemie-Lurgi для завода в Южной Африке (1955 год) и получившие название ARGE. По своей конструкции реактор представлял собой кожухотрубчатый теплообменник, в трубки которого загружался катализатор в форме экструдата диаметром около 2,0 мм. Реактор имел диаметр кожуха 3 м и содержал пучок из 2050 трубок диаметром 50 мм и длиной 12 м. На раннем этапе эксплуатации процесс проводился при температуре 230°C и давлении 27 атм и мощность реактора составляла 25 000 т/год. Позднее, в 1987 году, на одном из заводов была построена новая установка, в которой процесс проводился при более высоком давлении (4,5 МПа) с более высокой объемной скоростью, и в этих условиях реактор имел мощность 35 000 т/год. Типичный реактор Arge изображен на рис. 2.

Температуру в реакторе регулируют путем изменения давления пара. Синтез-газ подается в реактор с верха, проходит слой катализатора в трубах, где протекает синтез Фишера-Тропша; не прореагировавший синтез-газ и синтетическая нефть выходят снизу в поддон реактора. Здесь тяжелые парафины отделяются и выводятся через нижний штуцер, а газообразная смесь – через боковой штуцер.

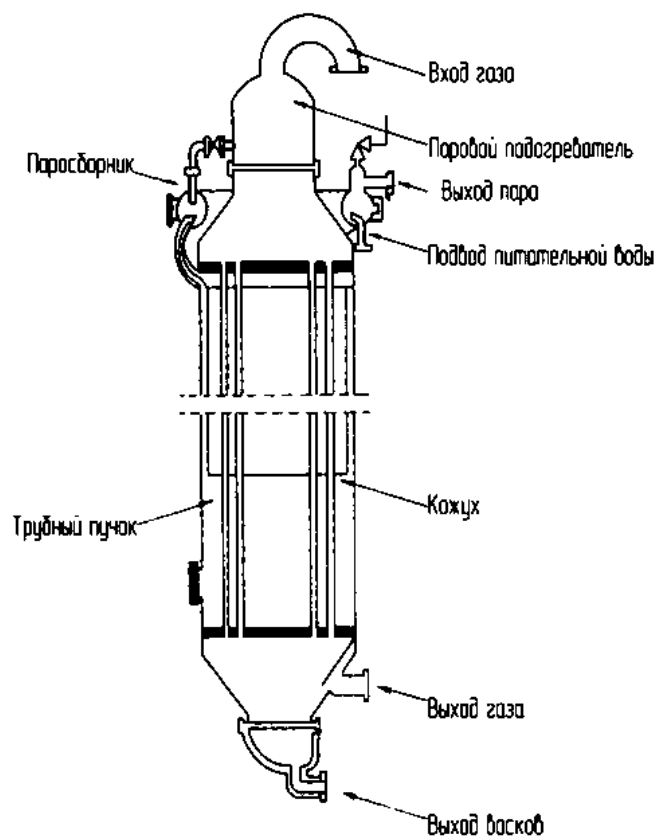


Рисунок 2 - Трубчатый реактор ARGE

Главным требованием к трубчатым реакторам, применяемым в низкотемпературном синтезе ФТ, является требование эффективности отвода тепла для обеспечения надежного контроля температуры в слое. В ранних конструкциях диаметр трубок ограничивался 50 мм. Для катализатора повышенной активности потребовались реакторы с более узкими трубками, диаметром 20 мм. Другим путем улучшения теплоотвода является возврат конденсата высококипящих продуктов синтеза на вход реактора для орошения слоя катализатора. В таком варианте в трубках реализуется трехфазный процесс – «трикл-бед реактор», в котором регулировать теплоотвод можно путем изменения плотности орошения слоя. Можно также повышать интенсивность теплоотвода путем увеличения скорости газа, однако такой путь приводит к росту перепада давления, и сопряжен с дополнительными энергозатратами. С этим же обстоятельством связано ограничение нижнего предела размера зерен, обусловленное перепадом давления. Но существует ограничение и верхнего предела размера зерна, обусловленное повышением внутридиффузионного

сопротивления. Фактор эффективности типичного зерна промышленного катализатора размером 3 мм, согласно известным оценкам, составляет 0,1-0,3. Преодолеть эти ограничения можно путем изготовления катализаторов «корочкового» типа, в котором активная масса наносится на внешнюю поверхность зерна. Однако катализаторы такой структуры легче дезактивируются под воздействием каталитических ядов типа H_2S , поскольку содержат существенно меньшее количество активной фазы и вся эта масса сосредоточена на внешней поверхности.

В табл.1 приведены основные достоинства и недостатки трубчатых реакторов.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки трубчатых реакторов

Недостатки	Преимущества
Трудный контроль температуры по длине и радиусу трубки	Надежность в эксплуатации, подтвержденная на протяжении десятилетий.
Повышенная сложность и металлоемкость конструкции, повышающая стоимость их изготовления	Стойкость к отравлению каталитическими ядами, обусловленная наличием защитного лобового слоя, сохраняющего работоспособность основного слоя.
Большой перепад давления по слою, сопряженный с повышенными энергозатратами	Удобство отделения тяжелых парафинов от катализатора
Низкая эффективность использования активной массы, приводящая к повышенному расходу катализатора	Не создают проблем, связанных с истиранием катализатора
Низкая эффективность использования активной массы, приводящая к повышенному расходу катализатора	Простота и надежность масштабирования на основе данных реактора с единственной трубкой

Несмотря на перечисленные недостатки, трубчатые реакторы с неподвижным слоем катализатора являются доминирующими в промышленной практике.

1.3.2 Сларри-реакторы

Крупномасштабные суспензионные барботажные реакторы колонного типа (SBCR) успешно практикуется компанией Sasol (ЮАР) начиная с 1993 года, и компанией Synfuels (Китай), начиная с 2008 года. Компания Statoil (Норвегия) также эксплуатирует суспензионный реактор на кобальтовом катализаторе. В последствие технология SSBP была адаптирована компанией Sasol для использования нанесенных кобальтовых катализаторов.

Суспензионные реакторы, в отличие от реакторов с кипящим слоем, масштабируются с большими трудностями. В реакторе этого типа в зависимости от скорости газа, вязкости жидкой фазы, размера частиц и содержания катализатора в суспензии возможны различные гидродинамические режимы. При фиктивной скорости газа менее 0,1 м/с, при которой работает большинство пилотных установок малого диаметра реализуется гомогенный режим. В этом режиме размеры и скорости подъема пузырьков газа невелики, пропускная способность колонны ограничена. Концентрация катализатора в таких установках – не более 0,1 г/л. В гетерогенном режиме, реализуемом в колоннах большего диаметра, при скорости газа более 0,4 м/с размер пузырей газа достигает 10 см и более. При этом для повышения производительности концентрацию катализатора в суспензии увеличивают до 30-40 % об. Переход в гетерогенный режим позволяет увеличить интенсивность теплоотвода до 1000 Вт/м² град. Однако при очень высокой концентрации катализатора возрастает вязкость среды и, как следствие, снижается скорость массообмена между газом и жидкостью. И в результате исследования было обнаружено много общего в гидродинамике суспензионных реакторов и реакторов кипящего слоя, однако особенностью суспензионных реакторов является сильное влияние поверхностного натяжения жидкости. Поверхностное натяжение суспензии зависит от условий процесса и состава продуктов и плохо поддается расчету. Типичный колонный барботажный сларри-реактор показан на рис. 3.

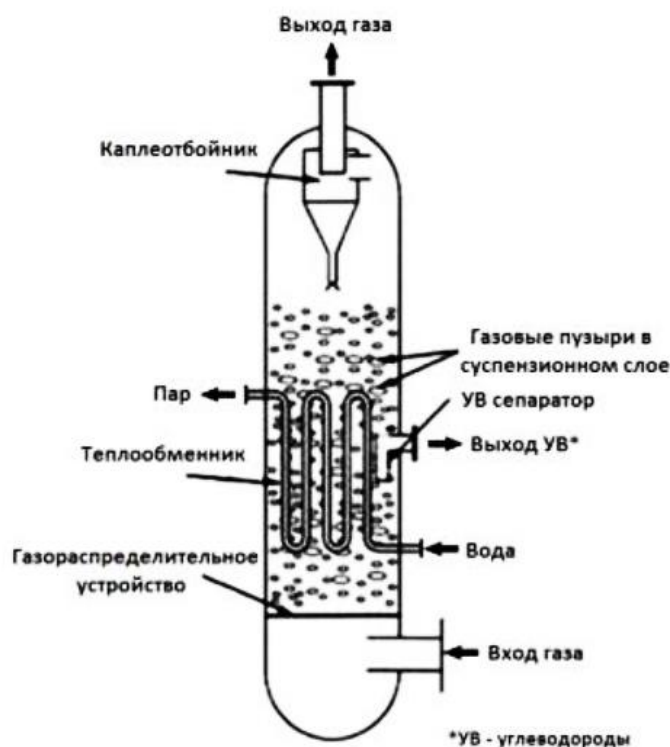


Рисунок 3 – Колонный барботажный сларри реактор (SBCR)

Синтез-газ подают через газораспределительное устройство, расположенное в днище реактора. В верхней части, свободном пространстве реактора, находятся устройства для отделения мелких капель, которые в виде аэрозолей выносятся из суспензии потоком газа. Тепло реакции отводится с помощью теплообменных труб, погруженных в слой суспензии. Очищенный от аэрозолей газ, содержащий легкие фракции синтетической нефти, поступает на переработку в газовый контур технологической схемы процесса, а тяжелые воскообразные продукты выводятся через сепаратор и направляются на стадию апгрейдинга.

Основные преимущества и недостатки сларри-реакторов приведены в табл.2.

Таблица 2 – Преимущества и недостатки сларри реакторов

Недостатки	Преимущества
Распределение времени пребывания в сларри-реакторе приближается к распределению типа CSTR, которое менее эффективно, чем распределение в трубчатом реакторе, приближающееся к реактору типа PFR	Существенно лучшая изотермичность во всем объеме слоя
Истирание и дробление частиц катализатора приводит к увеличению вязкости реакционной массы и создает трудности с последующим выделением катализатора	Существенно меньший перепад давления
Вредные примеси в синтез-газе, такие как H ₂ S, немедленно распространяются в суспензии, что приводит к ускоренной дезактивации катализатора во всем объеме	Возможность online замены катализатора и большая продолжительность пробега
	Более высокая селективность по тяжелым продуктам
	Меньшая стоимость аппарата

1.3.3 Реакторы с циркулирующим и стационарным псевдоожиженным слоем

Реакторы с циркулирующим (CFB) и стационарным псевдоожиженным слоем (FFB) используются только для высокотемпературного синтеза (HTFT). В качестве катализатора используется железные плавные, получаемые спеканием оксидов железа с промотирующими добавками оксидов меди и калия и последующим измельчением до необходимых размеров.

Принципиальная конструкция реактора с циркулирующим слоем катализатора (CFB) представлена на рис. 4.

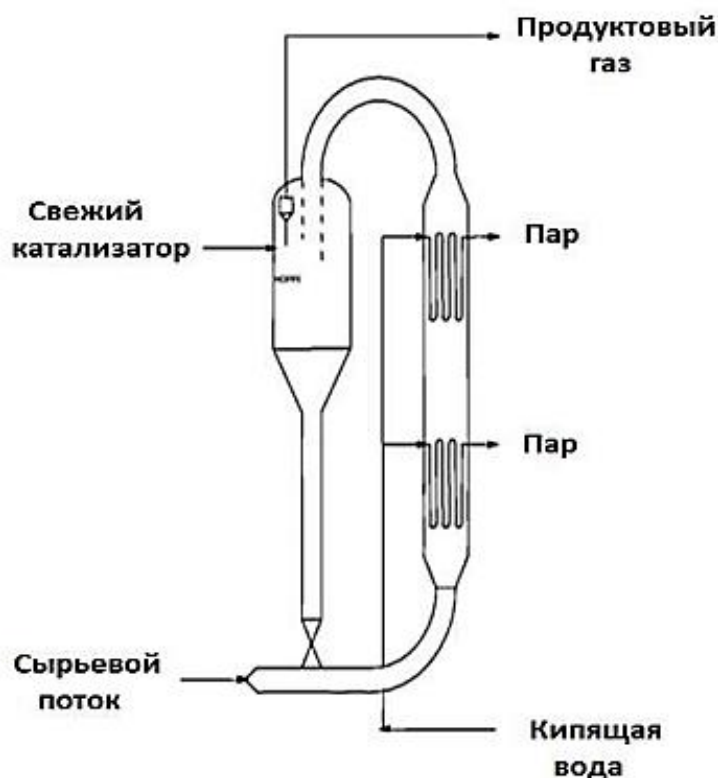


Рисунок 4 - Реактор с циркулирующим слоем катализатора (CFB)

Горячий синтез-газ смешивается с потоком катализатора, стекающим по стояку из бункера сепаратора. Расход катализатора регулируется задвижкой (шибером). Реакция начинается в момент смешения потоков газа и катализатора. Реактор CFB работает в режиме восходящего потока. Газо-катализаторная смесь поднимается по вертикальной трубе в основную часть реактора, где протекает реакция. Тепло реакции отводится с помощью теплообменника-парогенератора в виде пучка труб, в которых образуется пар с давлением выше 5 МПа. Температура реакции в потоке газо-катализаторной смеси контролируется путем регулирования давления пара. Реакционные газы отводятся с верха реактора, проходят циклоны, где катализатор отделяется от газового потока и собирается в бункере сепаратора. Режим работы CFB реактора предусматривает большой рецикл катализатора и высокую скорость газа, что вызывает истирание катализатора и эрозию оборудования.

В 1984 году компания Sasol в сотрудничестве с компанией Badger приступила к внедрению FFB реактора (fixed fluidized bed), первоначально разработанного фирмой Hydrocoal HTFT (Браунсвилль, Техас), и в 1989 году

такой реактор был масштабирован до размера 5 м в диаметре и мощностью 175 000 т /год.

Принципиальная конструкция FFB-реактора показана на рис. 5.

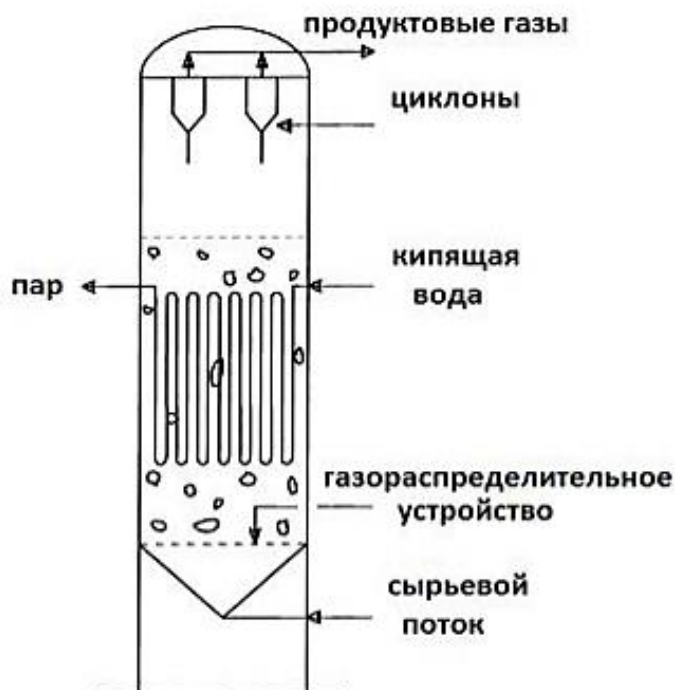


Рисунок 5 - Реактор с псевдоожиженным слоем катализатора (FFB)

Синтез-газ вводится в нижнюю часть реактора, и через газораспределительное устройство поступает в слой катализатора. Полученные газообразные продукты выводятся из слоя в верхней части через циклоны. Тепло реакции отводится с помощью пучка труб, погруженных в псевдоожиженный слой. В отличие от реактора с циркулирующим слоем (CFB) этот реактор работает в режиме плотного псевдоожиженного слоя, при котором все количество катализатора находится в зоне реакции.

Основные преимущества и недостатки FFB реакторов показаны в табл.3.

Таблица 3 – Достоинства и недостатки реактора с псевдооживленным слоем

Достоинства	Недостатки
Высокая единичная мощность	наличие продольного перемешивания реакционной смеси в псевдооживленном слое
Небольшой расход катализатора и редкая его замена	Низкая скорость реакции
Низкая стоимость эксплуатации и технического обслуживания	

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что синтез жидких углеводородов по методу Фишера-Тропша является перспективной технологией и относится к одному из источников получения альтернативного топлива из синтез-газа.

2 Экспериментальная часть

2.1 Объект и методы исследования

Для проведения исследования был использован ультрадисперсный порошок железа (УДП), полученный в среде монооксида углерода методом электрического взрыва проводника (ЭВП). ЭВП представляет собой явление резкого изменения физического состояния металла при пропускании по нему импульсного тока большой плотности.

Образцы порошка были получены в Томском политехническом университете с применением технологий и оборудования лаборатории №12 Инженерной школы новых производственных технологий.

Для получения ультрадисперсного порошка Fe применялась стальная проволока (ГОСТ 2246-70) марки Св-08А. В табл.4 представлен химический состав проволоки.

Таблица 4 – Химический состав проволоки

Железо	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Никель	Сера	Фосфор	Алюминий
98,13	0,80	0,03	0,60	0,12	0,25	0,03	0,03	0,01

Элементы установки представляют собой два блока: генератор импульсов электрической энергии и модуль по производству нанопорошков.

Вид на опытный участок по производству нанопорошков и схема одной из установок "УДП-150" представлены на рис. 6,7.



Рисунок 6 – Фото опытного участка

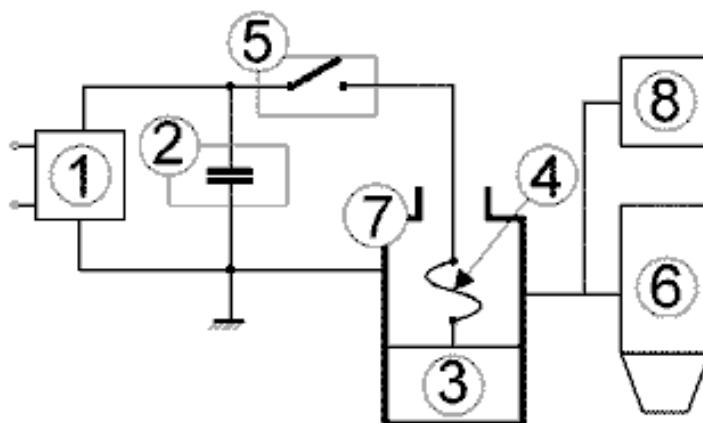


Рисунок 7 – Схема установки

Принцип действия установки осуществляется следующим образом: В самом начале происходит зарядка емкостного накопителя энергии – 2 с помощью высоковольтного источника питания – 1. Автоматическая установка взрываемого отрезка проволоки – 4 обеспечивается механизмом подачи проволоки – 3. В тот момент, когда отрезок проволоки примет заданное положение, срабатывает коммутатор – 5, в результате чего образуется разряд накопителя на данный участок проволоки и происходит взрыв. Полученный нанопорошок отбирается в накопителе – 6, и отправляется на дальнейшую переработку. Объем камеры - 7 вакуумируется, а затем заполняется газовой атмосферой. Данные функции осуществляются системой газового снабжения - 8. В качестве газовой атмосферы используются инертные газы, чаще аргон.

Электровзрывные порошки железа обладают развитой поверхностью. Исходя из теоретических сведений, представленных ранее, следует отметить, что наиболее перспективным, с точки зрения фазового состава, электровзрывным железным катализатором является порошок, полученный в среде именно оксида углерода.

Первоначально все порошки подвергались таблетированию под давлением 20 МПа с применением в качестве связующего вещества раствора поливинилового спирта 8 % масс. Время выдержки образцов под давлением составляло 20 секунд. Для исследования отбиралась фракция

катализатора 0,5-1 мм. На рис.8 представлены микрофотографии ультрадисперсного порошка железа.

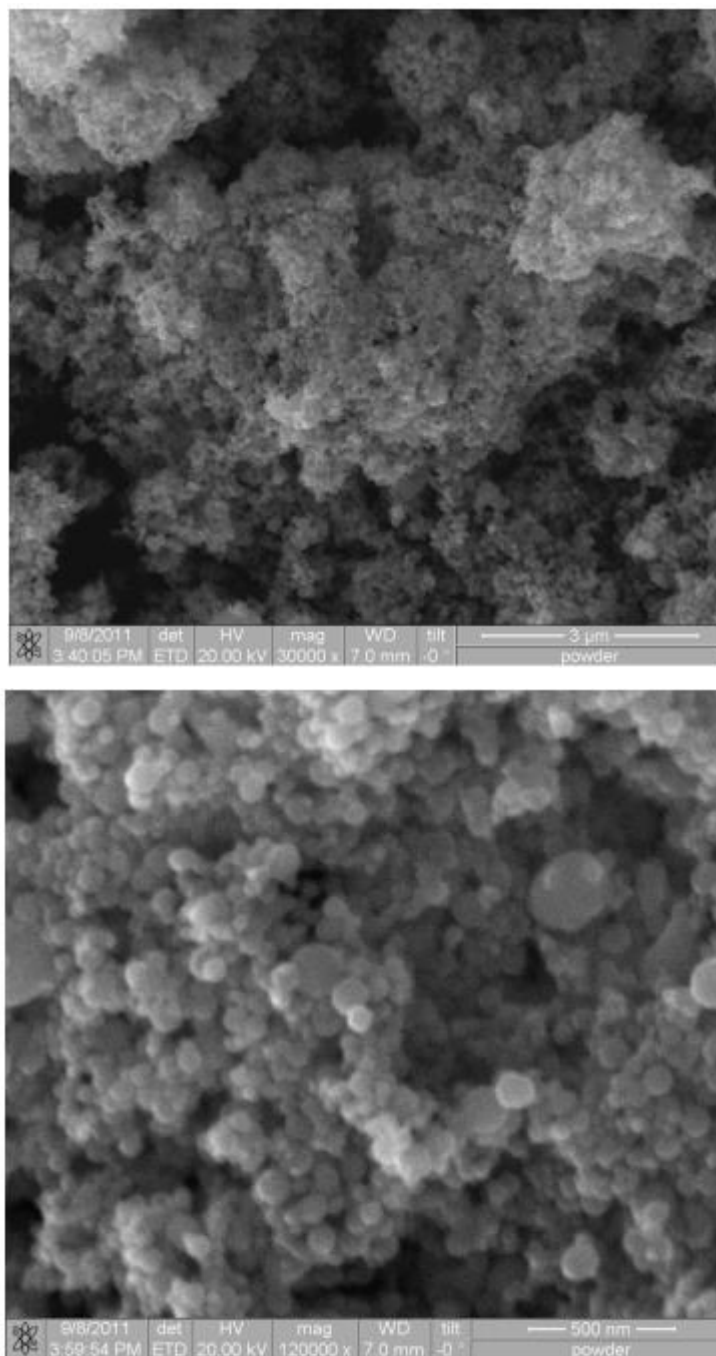


Рисунок 8 – Структура нанопорошка железа

2.2 Аппаратурное оформление исследований

Исследования проводились на каталитической установке, работающей при повышенном давлении, схема которой представлена на рис.9.

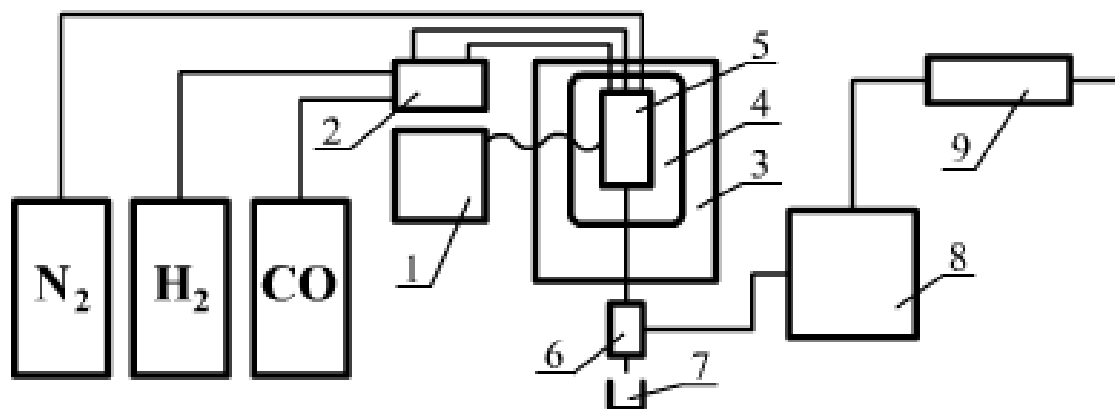


Рисунок 9 – Схема каталитической установки: 1 – регулятор температуры, 2 – блок дозирования газов, 3 – термошкаф, 4 – рубашка реактора, 5 – реактор, 6 – сепаратор, 7 – приемник, 8 – хроматографический комплекс, 9 – вытяжка

Перед испытанием катализатора необходимо провести опрессовку установки азотом для проверки системы на герметичность. Для этого в систему подают инертный газ – азот при повышенном (1,5-2 МПа) давлении и выдерживают установку в течении нескольких минут, проверяя на наличие утечек газа. После того, как установка опрессована, можно переходить непосредственно к исследованиям катализатора.

Исходные газы, проходя через блок дозирования 2, смешиваются, и попадают в верхнюю часть реактора 5, расположенного в термошкафу 3. Смесь продуктов, выходя из реактора, охлаждается в холодильнике и поступает на разделение в сепаратор 6. Газ из сепаратора направляется на анализ в газовый хроматограф 8, жидкость – в приемник 7. Температуры внутри слоя катализатора, рубашки реактора 4 и воздуха в термошкафу контролируются микропроцессорным регулятором 1. Анализ получаемых продуктов проводился методами капиллярной газовой хроматографии.

Подробная конструкция реактора изображена на рис.10.

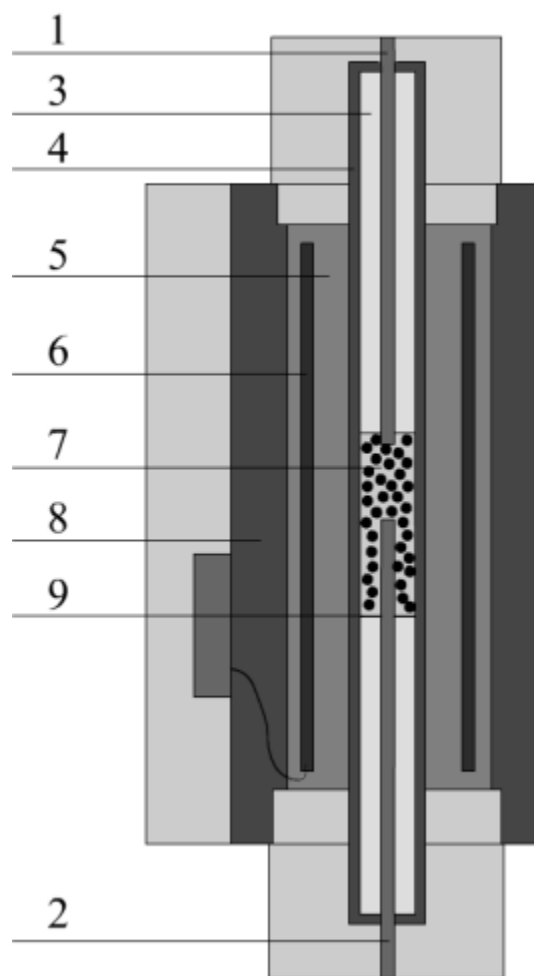


Рисунок 10 – Реакторная схема: 1,2 – термочувствительный элемент, 3 – испаритель, 4 – корпус, 5 – бандаж из меди, 6 – печь, 7 – катализаторный слой, 8 – изоляция, 9 – решетка.

Изображенный выше реактор – реактор с неподвижным слоем катализатора режима идеального вытеснения (РИВ). Катализатор в виде гранул располагают в реакторе через верхнее отверстие. Термочувствительные элементы осуществляют контроль температур. Испаритель выполняет две функции: смеситель реагентов и конденсатор сжиженных продуктов. При помощи тока печь отдает тепло сквозь медный бандаж. Реактор расположен в слое изоляции. Решетка является удерживающим устройством катализатора.

Анализ смесей газа осуществлялось на хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000.1». Анализирование газовых проб проводилось при помощи колонок описанных ниже при температуре 80 °С:

Таблица 5 – Используемые типа хроматографических колонок

Тип колонки	Длина, м	Сорбент	Для обнаружения каких веществ
Насадочная колонка	4	NaX (60/80)	водород, кислород, азот, метан и монооксид углерода
Насадочная колонка	1,5	Carbosieve S-II (60/80)	диоксид углерода
Капиллярная колонка	25	Agillent HP-AL-S	Углеводородов C ₁ –C ₆

Анализ жидких смесей осуществлялся на хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000.2», при помощи капиллярной колонки длина которой составляла сто метров, использовался неполярный сорбент (диметилполиксолан) для нахождения концентраций углеводородов и оксигенатов.

2.3 Проведение эксперимента

Объем загружаемого катализатора составлял 6 см³, суммарный расход реагентов – 300 мл/мин. Условия синтезов: давление 1,5 МПа, температурный интервал 220-250 °С, соотношение реагентов H₂:CO 2:1. Длительность каждого опыта составляла не менее 6 часов с момента установления стационарного режима. Газообразные продукты синтеза анализировались непосредственно во время проведения опытов после выхода на температурный на хроматографическом комплексе «Кристалл 5000» с периодичностью 30 минут. Жидкие продукты синтеза подвергались анализу по ГОСТ Р 52714-2007 «Бензины автомобильные. Определение индивидуального и группового углеводородного состава методом капиллярной газовой хроматографии».

После загрузки в реактор, катализатор просушивался при температуре 120°C в среде азота для удаления сорбированной воды с поверхности активных центров катализатора.

Последовательность проведения экспериментов:

Без предварительного восстановления:

- Загрузка образца катализатора в реактор;
- Просушка катализатора в токе азота;

- Проведение синтеза при рабочих температурах 250 -270 °С;

С предварительным восстановлением:

- Загрузка образца катализатора в реактор;
- Просушка катализатора в токе азота;
- Восстановление катализатора в токе водорода при 300 °С;
- Проведение синтеза при рабочих температурах 250 -270 °С;

На втором этапе катализатор подвергался перегреву с целью изучения его возможной дезактивации при температурах более 300 °С.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором в будущем будут продаваться разработки. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар или услуга. Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

Целесообразно выбрать два наиболее значимых критерия: размер компании и отрасль, по которым будет проводиться сегментирование рынка.

Таблица 9 – Карта сегментирования рынка

		Отрасль предприятия	
		Газодобывающие	Нефтегазодобывающие
Размер компании	Крупные	Chevron	Роснефть
	Средние	-	Сургутнефтегаз
	Мелкие	HaldorTopsoe	Русснефть

Как видно из таблицы, наиболее перспективным сегментом в отраслях нефтегазодобычи и нефтегазопереработки для формирования спроса является сегмент крупных и средних нефтедобывающих компаний.

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ существующих на рынке конкурирующих разработок необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять соперникам. Важно адекватно оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности позволяет провести оценку эффективности научной разработки и определить направления для ее последующего улучшения.

Поскольку свойства катализаторов действующих промышленных производств по Фишеру-Тропшу не раскрываются, был проведен сравнительный анализ разработок научно-исследовательских институтов.

В России синтез Фишера-Тропша изучают также в Томском государственном университете, Технологическом институте сверхтвердых и новых углеродных материалов (г.Троицк) и др. За рубежом исследования активно ведутся в США, Китае, ЮАР, странах Европейского Союза. Все исследования можно разделить на два основных типа: фундаментальные и прикладные. К недостаткам последних можно отнести малую практическую применимость и относительно долгое время исследований для продвижения разработки на рынок. В табл. 10 приведена оценочная карта сравнения конкурентных технических решений.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии ресурсоэффективности							
1. Производительность катализатора	0,3	5	4	4	1,5	1,2	1,2
2. Срок службы катализатора	0,3	4	4	4	1,2	1,2	1,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,2	5	4	4	1,0	0,6	0,6
2. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
3. Финансирование научной разработки	0,1	2	5	5	0,2	0,5	0,5
Итого	1				4,3	4,0	4,0

Б_ф – продукт проведенной исследовательской работы;

Б_{к1} – «Ангарский завод катализаторов и органического синтеза»;

Б_{к2} – «ИНФРА».

Разрабатываемая GTL-технология является конкурентоспособной на рынке – ее главным преимуществом является более дешевый способ производства катализатора и его стабильность при эксплуатации.

3.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strenghts (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в табл. 11.

Таблица 11 – Матрица первого этапа SWOT-анализа

	Сильные стороны: С1.Высокое качество получаемой продукции С2. Возможность дальнейшей переработки продуктов в синтетические моторные топлива С3. Экологичность получаемой продукции С4.Квалифицированный персонал С5. Тепловая энергия, получаемая как побочный продукт, может быть востребована на рынке	Слабые стороны: Сл1. Значительные потери исходного сырья при преобразовании газа в циклах химических превращений. Сл2. Проблемы с выделением и утилизацией тепла Сл3. Реализация проекта требует значительных инвестиций и сопряжена с длительным сроком окупаемости. Сл4. Большой срок поставок материалов и комплектующий, используемые при проведении научного исследования
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Возможность привлечения инвестиций на проведение научно-исследовательских работ В3. Повышение стоимости конкурентных разработок		
Угрозы: У1. Техническая и технологическая сложность реализации научно-исследовательского проекта У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства		

На втором этапе SWOT-анализа строятся интерактивные матрицы, которые представлены в таблицах 12, 13, 14, 15.

Таблица 12 – Интерактивная матрица «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	-
	B2	+	+	0	+	+
	B3	+	-	0	0	0

Таблица 13 – Интерактивная матрица «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	-	-	0
	B2	-	-	-	0
	B3	0	0	+	0

Таблица 14 – Интерактивная матрица «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта						
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	+	-	+
	У2	+	+	+	-	+
	У3	-	-	-	-	-

Таблица 15 – Интерактивная матрица «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	-	-	-
	У2	-	-	+	-
	У3	-	-	+	+

Таким образом, в рамках третьего этапа может быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (табл.16).

Таблица 16 – Итоговая матрица SWOT

	Сильные стороны: С1. Высокое качество получаемой продукции С2. Возможность дальнейшей переработки продуктов в синтетические моторные топлива С3. Экологичность получаемой продукции С4. Квалифицированный персонал С5. Тепловая энергия, получаемая как побочный продукт, может быть востребована на рынке	Слабые стороны: Сл1. Значительные потери исходного сырья при преобразовании газа в циклах химических превращений. Сл2. Проблемы с выделением и утилизацией тепла Сл3. Реализация проекта требует значительных инвестиций и сопряжена с длительным сроком окупаемости. Сл4. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемые при проведении научного исследования
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Возможность привлечения инвестиций на проведение научно-исследовательских работ В3. Повышение стоимости конкурентных разработок	Создание недорогого, конкурентоспособного способного железного катализатора для получения высококачественных синтетических жидких топлив	Ввиду значительных затрат на внедрение результатов НИР в промышленность и долгим сроком окупаемости проекта, возможно увеличение стоимости данной разработки
Угрозы: У1. Техническая и технологическая сложность реализации научно-исследовательского проекта У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	Высокое качество и экологичность получаемой продукции, привлечение к работе высококвалифицированного персонала, эффективное использование побочно выделяющегося тепла может снизить влияние данных угроз .	При задержках в поставках используемых материалов и одновременном развитии конкуренции технологии обогащения есть риски потери занятой ниши рынка. При добавлении к этому несвоевременного финансового обеспечения угроза потери рынка значительно возрастает

На основе SWOT-анализа были показаны проблемы и возможности данной технологии. Для данного проекта, как и для любой GTL-технологии, характерен баланс сильных сторон и возможностей (экологичность, обширная база дешёвого сырья и т.д.) а так же слабых сторон и угроз (высокие

капитальные затраты, низкий спрос и др.), то есть разрабатываемая технология находится в достаточно стабильных условиях.

3.2 Планирование научно-исследовательской работы

3.2.1 Структура работы в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 17 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителей
Разработка технического задания	1	Выбор направления исследований	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
	3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
	4	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
Теоретические исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, бакалавр
	6	Проведение компьютерных расчетов	Руководитель, бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр
Проведение ОКР			
Испытание образца	8	Лабораторные испытания	Бакалавр, лаборант
Оформление отчета по НИР	9	Оформление отчета	Бакалавр

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Временные показатели проведения научного исследования представлены в табл. 18. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

Продолжительность каждой работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

Продолжительность каждой работы в календарных днях:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}},$$

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

В табл. 18 приведены временные показатели проведения научного исследования.

Таблица 18 - Временные показатели проведения научного исследования

№	Наименование работ	Трудоемкость работ									Исполнители		
		t _{min} , чел-дни			t _{max} , чел-дни			t _{ож} , чел-дни					
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Разработка технического задания	1	2	1	5	6	5	2,6	3,6	2,6	Р	Р	Р
2	Выбор направления исследований	2	3	2	6	6	6	3,6	4,2	3,6	Р	Р	Р
3	Составление и утверждение технического задания	2	2	2	6	7	6	3,6	4	3,6	Р	Р	Р
4	Календарное планирование работ по теме	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Р	Р	Р
5	Подбор и изучение материалов по теме	15	15	15	20	20	20	17	17	17	Б	Б	Б
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	20 10	20 10	20 10	30 20	30 20	30 20	24 14	24 14	24 14	Б Р	Б Р	Б Р
7	Проведение компьютерных расчетов	5 2	5 3	5 2	7 5	7 5	7 5	5,8 3,2	5,8 3,8	5,8 3,2	Б Р	Б Р	Б Р
8	Оценка эффективности полученных результатов	1 2	1 2	1 2	3 5	3 5	3 5	1,4 3,2	1,4 3,2	1,4 3,2	Р Б	Р Б	Р Б
9	Лабораторные испытания	3 3	3 3	3 3	7 7	7 7	7 7	4,6 4,6	4,6 4,6	4,6 4,6	Б Л	Б Л	Б Л
10	Оформление отчета	3	3	3	7	7	7	4,6	4,6	4,6	Б	Б	Б

Р – руководитель





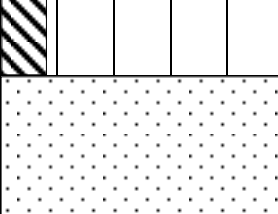

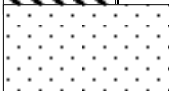






Б – бакалавр

Л – лаборант

Таблица 19 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Наименование работ	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}			Длительность работ в календарных днях, T_{ki}			Исполнители		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Разработка технического задания	2,6	3,6	2,6	4	5,4	4	Р	Р	Р
2	Выбор направления исследований	3,6	4,2	3,6	5,3	6,2	5,3	Р	Р	Р
3	Составление и утверждение технического задания	3,6	4	3,6	5,3	5,9	5,3	Р	Р	Р
4	Календарное планирование работ по теме	1,4	1,4	1,4	2,1	2,1	2,1	Р	Р	Р
5	Подбор и изучение материалов по теме	17	17	17	25,2	25,2	25,2	Б	Б	Б
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	12 7	12 7	12 7	17,8 10,4	17,8 10,4	17,8 10,4	Р Б	Р Б	Р Б
7	Проведение компьютерных расчетов	2,9 1,6	2,9 1,6	2,9 1,6	4,3 2,4	4,3 2,4	4,3 2,4	Р Б	Р Б	Р Б
8	Оценка эффективности полученных результатов	0,7 1,6	0,7 1,6	0,7 1,6	1,03 2,4	1,03 2,4	1,03 2,4	Р Б	Р Б	Р Б
9	Лабораторные испытания	2,3 2,3	2,3 2,3	2,3 2,3	3,4 3,4	3,4 3,4	3,4 3,4	Б Л	Б Л	Б Л
10	Оформление отчета	4,6	4,6	4,6	7	7	7	Б	Б	Б

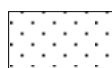
Таблица 20 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ раб от	Вид работ	Исполнители	Т _{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февр.		Март			Апр.			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Разработка технического задания	Руководитель	4													
2	Выбор направления исследований	Руководитель	5													
3	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	5													
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	2													
5	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр	25													
6	Проведение теоретически х расчетов и обоснований	Руководитель, бакалавр	11 18													
																
7	Проведение компьютерны х расчетов	Руководитель, бакалавр	3 5													
																
8	Оценка эффективност и полученных результатов	Руководитель, бакалавр	2 4													
																
9	Лабораторные испытания	Бакалавр, лаборант	3 3													
10	Оформление отчета	Бакалавр	7													

Руководитель –



Бакалавр –



Лаборант –



3.2.3 Бюджет научно-технического исследования

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_{\text{т}}) * \sum_{i=1}^m \text{Ц}_i * N_{\text{расх } i} ,$$

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, отражены в табл. 21.

Таблица 21 – Материальные затраты

Наименование	Цена за ед., с НДС руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Баллон СО, 1 шт.	30000	40000	32000	30000	40000	32000
Баллон Н2, 1 шт.	1500	1250	1550	1500	1250	1550
Баллон N2, 1 шт.	3300	3300	3000	3300	3300	3000
Баллон He, 1 шт.	5000	5200	4800	5000	5200	4800
Баллон Ar, 1 шт	2300	1300	1850	2300	1300	1850
Итого				42100	51050	43200

Таблица 22 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Мощность электроприбора, кВт	Общая стоимость, руб.
1	Каталитическая установка «КАТАКОН», 1 шт.	0,800	2880000
2	Хроматограф газовый, 1 шт.	0,130	1107500
3	Компьютер, 1 шт.	0,350	26500
Итого		1,28	4014000

Расчет затрат на электроэнергию определяется по формуле:

$$E_{\text{э}} = \sum N_i * T_{\text{э}} * \text{Ц}_{\text{э}}$$

где N_i – мощность электроприборов по паспорту, кВт; $T_{\text{э}}$ – время использования электрооборудования, час; $\text{Ц}_{\text{э}}$ – цена одного кВт*ч, руб.

$$E_{\text{э}} = \sum N_i * T_{\text{э}} * \text{Ц}_{\text{э}} = 1,28 * 250 * 1,82 = 582,4 \text{ руб.}$$

Линейная амортизация определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{C}{T_{\text{оби}}}$$

где C – стоимость оборудования, $T_{\text{оби}}$ – норма использования оборудования, лет.

$$A = \frac{4014000}{25} = 160560 \text{ руб.}$$

Для расчета основной заработной платы используем месячный оклад руководителя и лаборанта.

Таблица 23 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб	Районный коэффициент	Месячная зарплата, руб./мес.	Общие затраты по заработной плате, руб. (5 месяцев)
Руководитель	16048	1,3	20862	104310
Лаборант	13058	1,3	16975	84875

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления). В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) ,$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 24 – Социальные отчисления

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	20862	22435	19860
Лаборант	16975	14354	17020
Социальные отчисления ($k_{\text{внб}}=0,3$)			
Руководитель проекта	6258,6	6730,5	5958,0
Лаборант	5092,5	4306,2	5106,0
Всего	11351,1	11036,7	11064,0

Величина накладных расходов, попавших в предыдущие статьи расходов (печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые расходы и др.), определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей 1: 7}) * k_{\text{нр}} ,$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта. Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции

Таблица 25 – Расчет бюджета затрат научно-технического исследования

Наименование статьи	Сумма, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Материальные затраты НТИ	42100	51050	43200
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	4014000	4014000	4014000
Затраты на электроэнергию	582,4	582,4	582,4
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	37837	36789	36880
Социальные отчисления	11351,1	11036,7	11064
Накладные расходы	656939,3	658153,3	656916,2
Бюджет затрат НТИ	4762810	4771611	4762643

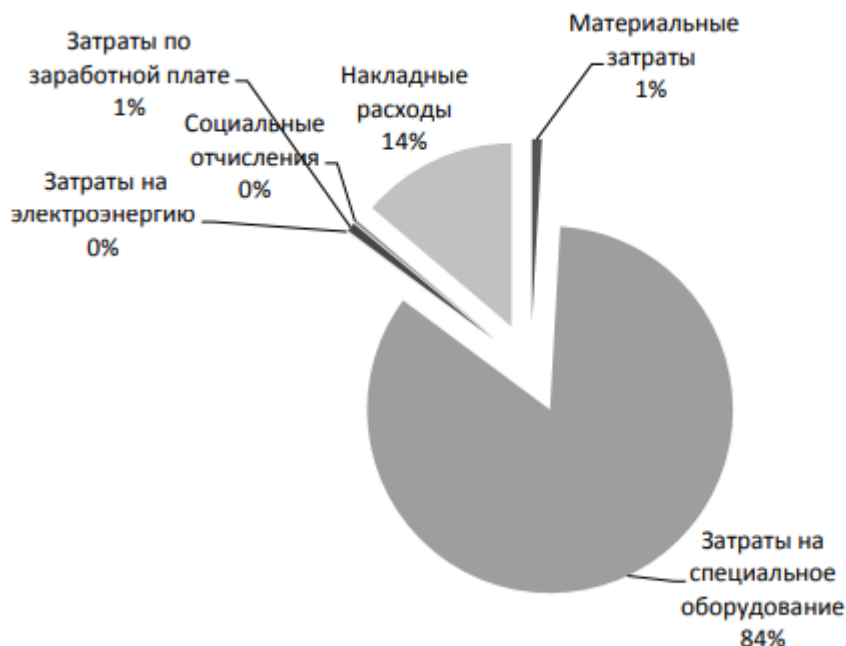


Рисунок 13 – Круговая диаграмма материальных затрат НТР

Как видно из диаграммы, наиболее затратная часть – это затраты на специальное оборудование. Большой объем затрат для данной работы обуславливается высокой ценой на каталитическую установку.

3.3 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} ,$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i ,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Таблица 26 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерий	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Производительность катализатора	0,63	5	4	4
Срок службы катализатора	0,37	4	4	4
Итого	1	4,63	4	4

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{исп}i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{I_{\text{р-исп.1}}}{I_{\text{финр.}}^{\text{исп.1}}} , I_{\text{исп.2}} = \frac{I_{\text{р-исп.2}}}{I_{\text{финр.}}^{\text{исп.2}}} \text{ и т.д.}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}}$$

Таблица 27 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,98	0,96
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	4,05	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,45	4,13	4,06
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,93	0,91

В ходе выполнения данного раздела были определены финансовый показатель разработки, показатель ресурсоэффективности, интегральный показатель эффективности и, на основании сравнительной эффективности вариантов исполнения, оптимальным был выбран вариант исполнения 1.

4 Социальная ответственность

Выполнение выпускной квалификационной работы осуществлялось на лабораторной каталитической установке «Катакон». На данной установке проводились исследования каталитической активности железного катализатора Фишера-Тропша в процессе синтеза жидких углеводородов.

Объект исследования – железный катализатор, полученный методом электрического взрыва. Сырьё – синтез-газ ($H_2:CO=2:1$). Цель работы – исследование активности катализатора в процессе получения жидких углеводородов из монооксида углерода и водорода.

Лабораторная установка, хроматографический комплекс и персональный компьютер расположены в лабораторном помещении отделения химической инженерии ТПУ. Рабочая зона оборудована системами отопления, водоснабжения, вентиляции воздуха, комбинированным освещением; соответствует требованиям [26,27].

4.1 Производственная безопасность

4.1.1 Анализ вредных факторов

4.1.1.1 Вредные вещества

Процесс на каталитической установке протекает при высоких температурах (до 400 °С) и следствием этого является то, что получаемые продукты находятся в жидком и газообразном состоянии. Это делает их более активными. Большинство ядовитых веществ попадает в организм человека через органы дыхания. Это опасно из-за большой всасывающей способности слизистой оболочки носа и дыхательной поверхности легких. Получаемые жидкие углеводороды содержат около 20 масс. % ароматических углеводородов (бензол, толуол и т.д.). Они относятся к ядовитым (токсичным) веществам. Помимо этого в состав выделяющихся газов входят непрореагировавшие водород и монооксид углерода.

Бензол по своему биологическому действию относится по характеру действия к канцерогенам. При непродолжительном вдыхании паров бензола не возникает немедленного отравления, если организм человека подвергается длительному воздействию бензола в малых количествах, последствия также могут быть очень серьезными. В этом случае хроническое отравление бензолом может стать причиной лейкемии (рака крови) и анемии (недостатка гемоглобина в крови).

Толуол вызывает аналогичные изменения со стороны крови, но несколько слабее, чем бензол.

В воздухе кроме токсичных веществ содержится так называемая производственная пыль. Выделение пыли происходит при таблетировании и дроблении катализатора. Длительный контакт с производственной пылью в данном случае приводит к хроническому заболеванию легких – силикозу.

Поэтому важно знать, какая предельно допустимая концентрация этих веществ должна быть в воздухе, чтобы они не оказывали сильного влияния на организм человека. По определению, ПДК вещества в воздухе рабочей зоны – концентрация, которая при ежедневной работе без средств защиты в течении 8 часов или другой продолжительности, но не более 40 часов в неделю, в течении всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья.

Таблица 28 – Предельно допустимые концентрации токсичных веществ в воздухе рабочей зоны (ГН 2.2.5.1313-03) [28]

Наименование	ПДК рабочей зоны, мг/м ³	Класс опасности	Примечание
Монооксид углерода	20	2	Образует карбоксигемоглобин, надолго уменьшая поступление кислорода
Бензол	5	2	Канцероген, обладает наркотическим действием
Толуол	50	3	Более слабый канцероген, чем бензол; пары при вдыхании также оказывают наркотическое действие

Продолжение таблицы 28

Бензин	100	3	При вдыхании вызывает наркотическое опьянение; содержит токсичные и канцерогенные вещества
--------	-----	---	--

Средствами защиты от попадания на кожу вредных химических веществ служат резиновые перчатки, лабораторные халаты, шапочки, обувь. Для защиты дыхательных путей от действия вредных химических веществ служат специальные ватно-марлевые повязки, респираторы, противогазы. Для защиты слизистой оболочки глаз можно использовать специальные очки. Средством защиты от поражения вредными химическими веществами служит также точное соблюдение техники безопасности и инструкций к используемым веществам.

4.1.1.2 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей.

Метеорологические условия рабочей среды (микроклимат) оказывают влияние на процесс теплообмена и характер работы. Микроклимат характеризуется температурой воздуха, его влажностью и скоростью движения, а также интенсивностью теплового излучения. Длительное воздействие на человека неблагоприятных метеорологических условий резко ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям. Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, тепловому удару или профзаболеванию. Низкая температура воздуха может вызвать местное или общее охлаждение организма, стать причиной простудного заболевания либо обморожения [29].

Влажность воздуха оказывает значительное влияние на терморегуляцию организма человека. Высокая влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой же температуре она усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению организма. Низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных органов работающего.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах соответствуют требованиям Санитарных правил и нормативов «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый период года. В лаборатории предусмотрены следующие нормы производственной санитарии [29]:

Таблица 29 - Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Па	19 – 21	18 – 22	60 – 40	0,2
Теплый	Па	20 – 22	19 – 23	60 – 40	0,2

Микроклимат оказывает влияние на самочувствие человека, его трудоспособность и протекания физиологических процессов в течение 8-ми часовой рабочей смены.

С целью защиты персонала устанавливаются системы естественной и искусственной вентиляции.

Таблица 30 – Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Па	17,0 – 18,9	21,1 – 23,0	16,0 – 24,0	15 – 75	0,1	0,3
Теплый	Па	18,0 – 19,9	22,1 – 27,0	17,0 – 28,0	15 – 75	0,1	0,4

4.1.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Спектр электромагнитного излучения (источником является компьютер) природного и техногенного происхождения, оказывающий влияние на человека как в условиях быта, так и в производственных условиях, имеет диапазон волн от тысяч километров (переменный ток) до триллионной доли миллиметра (космические энергетические лучи). Есть два источника электромагнитного излучения: монитор и системный блок.

Длительное воздействие электромагнитного поля на организм человека может вызвать нарушение функционального состояния нервной и сердечнососудистой систем. Это выражается в повышенной утомляемости, снижении качества выполнения рабочих операций, изменении кровяного давления и пульса.

Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах нормы допустимых уровней напряженности электрических полей зависят от времени пребывания человека в контролируемой зоне. Время допустимого пребывания в рабочей зоне составляет $T = 50/E - 2$ часов. Работа в условиях облучения электрическим полем с напряженностью 20–25 кВ/м продолжается не более 10 минут. При напряженности не выше 5 кВ/м присутствие людей в рабочей зоне разрешается в течение 8 часов [29].

Особые требования к помещениям, в которых эксплуатируются компьютеры:

- не допускается расположение рабочих мест в подвальных помещениях;
- площадь на одно рабочее место должна быть не меньше 6 м^2 , а объем – не менее 20 м^3 ;
- для повышения влажности воздуха в помещениях с компьютерами необходимы увлажнители воздуха, ежедневно заправляемые дистиллированной или прокипяченной питьевой водой. В начале и через каждый час работы помещения необходимо проветрить.

4.1.1.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Наиболее важной областью оптического спектра электромагнитных излучений является видимый свет (излучение с длиной волны от 0,38 – 0,4 до 0,75 – 0,78 мкм). Он обеспечивает зрительное восприятие, дающее около 90 % информации об окружающей среде, влияет на тонус центральной и периферической нервной системы, на обмен веществ в организме, его иммунные и аллергические реакции, на работоспособность и самочувствие человека. Недостаточное освещение рабочего места затрудняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Слишком низкие уровни освещенности вызывают апатию и сонливость, а в некоторых случаях способствуют развитию чувства тревоги. Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения сопровождаются снижением интенсивности обмена веществ в организме и ослаблением его активности. К таким же последствиям приводит длительное пребывание в световой среде с ограниченным спектральным составом света и монотонным режимом освещения.

Работа, связанная с документами, требует хорошего освещения. Излишне яркий свет снижает зрительные функции, приводит к перевозбуждению нервной системы, уменьшает работоспособность, нарушает механизм сумеречного зрения. Воздействие чрезмерной яркости может вызывать фотоожоги глаз и кожи, кератиты, катаракты и другие нарушения.

Нормируемыми параметрами для систем искусственного освещения являются: величина минимальной освещенности $L_{\text{доп}}$, допустимая яркость в поле зрения $L_{\text{доп}}$, а также показатель ослепленности P и коэффициент пульсации $K_{\text{п}}$ (СНиП 23–05–95) [29].

4.1.1.5 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Источниками производственного шума могут служить технологическое оборудование, инструменты или машины.

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты [30].

Нормирующей характеристикой постоянного шума на рабочем месте является уровень звуковых давлений в октавных полосах, составляющий 80 дБА [30].

Для измерения уровня шума применяют шумомеры. Для защиты от шума используются ограждающие конструкции с требуемой звукоизоляцией; звукопоглощающие конструкции, звукоизолирующие кожухи на шумных агрегатах и др.

4.1.1.6 Повышенный уровень вибрации

Источниками вибрации является лабораторная установка.

Длительное вибрационное воздействие может привести к снижению работоспособности, нарушению функций центральной нервной системы, опорно-двигательного аппарата и др.

Гигиенические допустимые уровни вибрации регламентируют ГОСТ 12.1.012-90 "Вибрационная безопасность. Общие требования", а также СН 2.2.4/2.1.8.566–96 по значениям виброускорения, виброскорости и их логарифмических уровней в децибелах [31].

Для снижения воздействия вибрации на работников необходимо ввести режимы отдыха, санитарно-профилактические мероприятия и средства виброзащиты на рабочих местах.

4.1.2 Анализ опасных факторов

4.1.2.1 Электробезопасность

Электробезопасность установки должна обеспечиваться в любых возможных нормальных и аварийных эксплуатационных ситуациях.

Источниками электрической опасности являются:

- оголенные части проводов или отсутствие изоляции;
- отсутствие заземления; - замыкания;
- статическое напряжение.

Электробезопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий:

- 1) соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей или путем закрытия;
- 2) ограждения токоведущих частей;
- 3) применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
- 4) применение предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
- 5) применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
- 6) использование средств защиты и приспособлений, в том числе для защиты от воздействия электрического и магнитного полей в электроустановках, в которых их напряженность превышает допустимые нормы.

Для контроля предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов измеряют напряжения и токи в местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека. Класс точности измерительных приборов не ниже 2,5 [32].

Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям электробезопасности при работе с электроустановками по ГОСТ 12.1.019-79.

Все электрооборудование с напряжением свыше 36 В, а также оборудование и механизмы, которые могут оказаться под напряжением, должны быть надежно заземлены.

Для отключения электросетей на вводах должны быть рубильники или другие доступные устройства. Отключение всей сети, за исключением дежурного освещения, производится общим рубильником.

В целях предотвращения электротравматизма запрещается:

- 1) работать на неисправных электрических приборах и установках;
- 2) перегружать электросеть;
- 3) переносить и оставлять без надзора включенные электроприборы;
- 4) работать вблизи открытых частей электроустановок, прикасаться к ним;
- 5) загромождать подходы к электрическим устройствам.

Обо всех обнаруженных дефектах в изоляции проводов, неисправности рубильников, штепсельных вилок, розеток, а также заземления и ограждений следует немедленно сообщить электрику.

В случае перерыва в подаче электроэнергии электроприборы должны быть немедленно выключены.

Категорически запрещается прикасаться к корпусу поврежденного прибора или токоведущим частям с нарушенной изоляцией и одновременно к заземленному оборудованию (другой прибор с исправным заземлением, водопроводные трубы, отопительные батареи), либо прикасаться к поврежденному прибору, стоя на влажном полу.

При поражении электрическим током необходимо как можно быстрее освободить пострадавшего от действия электрического тока, отключив электроприбор, которого касается пострадавший. Отключение производится с помощью отключателя или рубильника.

При невозможности быстрого отключения электроприбора необходимо освободить пострадавшего от токоведущих частей деревянным или другим, не проводящим ток предметом источник поражения.

Во всех случаях поражения электрическим током необходимо вызвать врача [32].

4.1.2.2 Пожаробезопасность

Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по ФЗ - №123 от 2008г. и иметь средства пожаротушения по ФЗ - №123 от 2008г [33].

Лаборатория должна быть оснащена пожарными кранами (не менее одного на этаж) с пожарными рукавами. В каждом рабочем помещении должны быть в наличии огнетушители и песок, а в помещениях с огнеопасными и легковоспламеняющимися веществами – дополнительные средства пожаротушения.

В помещении лаборатории на видном месте должен быть вывешен план эвакуации сотрудников в случае возникновения пожара.

Распоряжением по лаборатории из числа сотрудников назначается группа (3-5 человек), которая организует все противопожарные мероприятия, получив инструктаж местной пожарной команды.

Все сотрудники лаборатории должны быть обучены правилам обращения с огне- и взрывоопасными веществами, газовыми приборами, а также должны уметь обращаться с противопогазом, огнетушителем и другими средствами пожаротушения, имеющимися в лаборатории.

В помещениях лаборатории и в непосредственной близости от них (в коридорах, под лестницами) запрещается хранить горючие материалы и устанавливать предметы, загромождающие проходы и доступ к средствам пожаротушения.

Куриль разрешается только в отведенном и оборудованном для этой цели месте.

Без разрешения начальника лаборатории и лица, ответственного за противопожарные мероприятия, запрещается установка лабораторных и

нагревательных приборов, пуск их в эксплуатацию, переделка электропроводки.

Запрещается эксплуатация неисправных лабораторных и нагревательных приборов.

После окончания работы необходимо отключить электроэнергию, закрыть газовые баллоны и воду во всех помещениях.

Каждый сотрудник лаборатории, заметивший пожар, задымление или другие признаки пожара обязан:

- 1) немедленно вызвать пожарную часть по телефону;
- 2) принять меры по ограничению распространения огня и ликвидации пожара;
- 3) поставить в известность начальника лаборатории, который в свою очередь должен известить сотрудников, принять меры к их эвакуации и ликвидации пожара.

Для ликвидации небольших очагов пожара на территории объекта имеются первичные средства тушения пожара – огнетушители, ящики с песком, асбестовые одеяла (кошмы) [33].

4.2 Экологическая безопасность

Вредное воздействие установки распространяется главным образом на атмосферу. Для борьбы с загрязнением воздуха на каталитической установке следует использовать как можно меньшие значения расхода синтез-газа, так как выброс газообразных продуктов (бензол, окись углерода, толуол, сероводород, аммиак) осуществляется напрямую в атмосферу.

Воздействие на гидросферу и литосферу отсутствует, так как слив вредных веществ и выброс твердых остатков отсутствует.

4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

4.3.1 Анализ возможных чрезвычайных ситуаций при работе в лаборатории

Химический взрыв – взрыв, возникающий за счет протекания химической реакции веществ или разложения вещества. Характеризуется значительной разрушительной мощностью и поражающей способностью. Может приводить к пожару в лаборатории. К химическому взрыву может привести накопление горючих газов (в первую очередь, водорода и монооксида углерода) до взрывоопасных концентраций.

При работе с взрывчатыми веществами необходимо соблюдать меры безопасности. В данном случае необходимо не допускать разгерметизации установки, чтобы горючие газы не смешивались с воздухом. Для этого требуется периодически опрессовывать установку инертным газом и не допускать разбора или разъединения узлов во время работы.

Физический взрыв – взрыв, возникающий за счет быстрого разрушения емкостей или из-за быстрого выделения тепла в какой-либо точке. Обычно (но не всегда) имеет меньшую мощность и разрушительные последствия, чем химический взрыв. К физическому взрыву может привести неконтролируемое повышение давления в герметичной системе (например, при закупоривании отводных трубок высоковязкими веществами или катализаторным шламом). Также к физическому взрыву может привести механическое повреждение баллона со сжатым газом.

Пожар – неконтролируемое возгорание в лаборатории. Может привести к полному уничтожению всей лаборатории. К пожару может привести воспламенение синтез-газа вследствие разгерметизации установки.

Термический ожог – воздействие на кожу сильно нагретых материалов. К термическому ожогу может привести неосторожная работа с нагревательными приборами.

Отравление – попадание в организм токсичного вещества. К отравлению может привести попадание в воздух монооксида углерода или разлив жидких продуктов синтеза, содержащих ароматические углеводороды.

4.3.2 Меры по предотвращению возникновения чрезвычайных ситуаций

В целях обеспечения надежности и безопасности работы, предусматривается ряд мероприятий, обеспечивающих безопасное ведение технологического процесса:

- 1) герметичность арматуры оборудования и трубопроводов;
- 2) автоматизированный контроль исследуемого процесса;
- 3) оснащение установки сигнализацией, реагирующей на резкое повышение или понижение давления и температуры;
- 4) продувка системы инертным газом пуском или ремонтом;
- 5) наличие подъездов для пожарной техники;
- 6) оснащение лабораторного помещения вытяжкой.

Вода – наиболее доступное средство для тушения пожаров в лаборатории. Для тушения небольших очагов пламени можно взять воду из ближайшего водопроводного крана. При необходимости подачи большого количества воды в зону очага горения пользуются внутренним пожарным водопроводом (пожарный кран). Вода применяется для тушения твердых горючих материалов – дерева, бумаги, резины, тканей, одежды, а также хорошо растворяющихся в воде горючих жидкостей – ацетона, низших спиртов, органических кислот. Эффективность тушения пожара водой повышается при подаче ее в зону горения в виде распыленных струй. Водой нельзя тушить электрооборудование и электропроводку, находящиеся под напряжением, вещества, способные вступить с водой в химическую реакцию.

Асбестовое полотно применяют для тушения веществ и материалов, горение которых не может происходить без доступа воздуха, но только в тех случаях, когда площадь горения не велика.

Сухой песок рекомендуется применять при загорании небольших количеств ГЖ, ЛВЖ и твердых веществ, в том числе тех, которые нельзя тушить водой. В соответствии с нормами противопожарной безопасности, наличие песка обязательно в каждом лабораторном помещении. Песок хранят в ящиках, снабженных совком.

Для тушения твердых и жидких веществ, не вступающих во взаимодействие с водой, и в первую очередь – для тушения нефтепродуктов в лаборатории можно использовать воздушно-пенные огнетушители ОВП-10.

Порошковые огнетушители (ОП-5, ОП-10) являются одними из самых эффективных средств пожаротушения. Они не повреждают оборудование, нетоксичны и неэлектропроводные и предназначены для тушения твердых веществ, жидких веществ (в том числе ГЖ и ЛВЖ), газообразных веществ, электропроводов и электрооборудования, находящихся под напряжением до 1000 вольт.

4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

При выполнении научно-исследовательской работы необходимо следовать требованиям ТК РФ. Согласно источнику [34], необходимо проводить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры (обследования) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда. Необходимо руководствоваться источником [35], если работа предполагает использование некоторых мер предосторожности и средства индивидуальной защиты. Во избежание несчастных случаев следует проводить обучение и проверять знания работников[36].

Заключение

В процессе исследования синтеза Фишера-Тропша было рассмотрено следующее: проанализирован вопрос выбора катализатора для технологии Фишера-Тропша, изучены различные условия проведения синтеза на степень превращения конечных продуктов. В работе показаны основные типы реакторов, используемые в синтезе жидких углеводородов.

В процессе исследования высокодисперсного порошка железа, полученного электрическим взрывом, были представлены зависимости условий на выход конечных продуктов. Опираясь на полученные данные, можно сделать следующие выводы:

- Ультрадисперсные порошки железа, полученные методом электрического взрыва проводника, являются достаточно активными катализаторами GTL процесса – степень конверсии оксида углерода при $T = 270\text{ }^{\circ}\text{C}$ достигала 25 % за один проход. Выход жидкости в расчете на 1 м^3 синтез-газа составляет 55,3 г;
- Предварительное восстановление образцов ультрадисперсного порошка положительно сказывается на условиях синтеза приводя к снижению рабочего интервала температур до уровня 220 – 250 $^{\circ}\text{C}$, также позволяя оказывать влияние на компонентный состав продуктов;
- Катализатор на основе электровзрывных порошков железа не подвержен дезактивации при кратковременном перегреве до температуры 385 $^{\circ}\text{C}$ в течение 8 часов в условиях синтеза, не оказывая значительного влияния на общую степень конверсии оксида углерода и состав продуктов синтеза.

Исходя из всего вышесказанного, УДП железа является пригодным катализатором в высокотемпературном синтезе Фишера-Тропша.

Список публикаций студента

1. Лисовская Л. А.. Исследование ультрадисперсных порошков железа в качестве катализаторов для синтеза Фишера-Тропша // Химия и химическая технология в XXI веке материалы XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, 29 мая-1 июня 2017 г., г. Томск: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) – Томск : Изд-во ТПУ , 2017 . – С. 314-315
2. Амадова Б. К.; Лисовская Л. А.; Миничева Д. А.; Рязанова Т. И.; Стасенко М. Н. Разработка рецептур и компаундирование моторных топлив // Химия и химическая технология в XXI веке материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, посвященной 120-летию Томского политехнического университета, 17–20 мая 2016 г., г. Томск: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) – Томск: Изд-во ТПУ , 2016 . – [С. 315-316]

Список литературы

1. Матковский П.Е., Седов И.В., Савченко В.И., Яруллин Р.С. Технологии получения и переработки синтез-газа // Газохимия. – 2011. – Т.19-20, №3-4. – С.77-84.
2. Каримова А.Р., Шириязданов Р.Р., Давлетшин А.Р., Махмутова О.Н., Теляшев Э.Г., Рахимов М.Н. Процессы ХТЛ. Технологические аспекты переработки ископаемого и возобновляемого углеродсодержащего сырья на основе процесса Фишера-Тропша. Сообщение 1. Сырьевая база и каталитические основы процесса Фишера-Тропша // Баш. хим. ж. – 2016. – Т.23, №2. – С.71-81.
3. Рахмнкулов Д.Л., Николаева С.В., Латыпова Ф.Н., Вильданов Ф.Ш., Шавшукова С.Ю. Мировые запасы угля и перспективы его использования // Баш. хим. ж. – 2009. – Т.16, №2. – С.21-28.
4. James G. Speight . Synthetic Fuels. USA: The McGraw-Hill Companies inc., 2008. – 421 p.
5. Патент №2448758 РФ. Рукавный фильтр для очистки газа от пыли с короткоимпульсной продувкой. / Бочавер К.З., Шамгулов Р.Ю. // Б.И. – 2012. – №12.
6. Патент №2377057 РФ. Установка для очистки газа от сероводорода. Сахабутдинов Р.З., Ибатуллин Р.Р., Гарифуллин Р.М., Шаталов А.Н., Моекель Ш.Р., Штейнгольц З. // Б.И. – 2009. – №36.
7. Сторч Г. Синтез углеводородов из оксида углерода и водорода. М.: Издательство, 1954. 516 с.
8. Глебов Л.С. // Успехи химии. 1994. № 63. Вып. 2. С. 192–202.
9. Малолетнев А С. // Рос. хим. журн. (Журн. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2008. – Т. 52. – № 6. С. 44–52.
10. Botes F.G. // Catalysis Today. 2013. V. 215. P. 112–120.
11. Schulz H. // Applied Catalysis A. 1999. V. 186. P. 3–12.
12. Zhang Q. // ChemCatChem. 2010. V. 2. P. 1030–1058.

13. Cheng K. // Journal of Catalysis 2015. V. 328. P. 139–150.
14. Delgado J.A. // ACS Catalysis. 2015. V. 5. P. 4568–4578.
15. Eschemann T.O. // ACS Catalysis. 2015. V. 5. P. 3181–3188.
16. D. Kistamurthy, A.M. Saib, D.J. Moodley, H. Preston, W. Janse van Rensburg, J.W. Niemantsverdriet, C.J. Weststrate. The role of carboxylic acid in cobalt Fischer-Tropsch synthesis catalyst deactivation // Catalysis Today. – 2015. – Vol.275. – P. 127-134.
17. Sarwat Iqbal , Thomas E. Davies , David J. Morgan, Khalid Karim, James S. Hayward, Jonathan K. Bartley, Stuart H. Taylor, Graham J. Hutchings. Fischer Tropsch synthesis using cobalt based carbon catalysts // Catalysis Today. – 2015. – Vol.275. – P. 35-39.
18. Andre P. Steynberg, Soumitra R. Deshmukh, Heinz J. Robota. Fischer-Tropsch catalyst deactivation in commercial microchannel reactor operation // Catalysis Today. – 2018. – Vol.299. – P. 10-13.
19. Alexandre Carvalho, Vitaly V. Ordonsky , Yuan Luo , Maya Marinova, André R. Muniz , Nilson Romeu Marcilio, Andrei Y. Khodakov. Elucidation of deactivation phenomena in cobalt catalyst for Fischer-Tropsch synthesis using SSITKA // Journal of Catalysis. – 2016. – Vol.744. – P. 669-679.
20. Vahid Vosoughi, Ajay K. Dalaia, Nicolas Abatzoglou, Yongfeng Hu. Performances of promoted cobalt catalysts supported on mesoporous alumina for Fischer-Tropsch synthesis // Applied Catalysis A, General. – 2017. – Vol.547. – P. 155-163.
21. Paphatsara Sirikulbodee, Tanakorn Ratana, Thana Sornchamni, Monrudee Phongaksorn, Sabaithip Tungkamani. Catalytic performance of Iron-based catalyst in Fischer–Tropsch synthesis using CO₂ containing syngas // Energy Procedia. – 2017. – Vol.1152. – P. 998-1003.
22. K. Cheng, V.V. Ordonsky, M. Virginie, B. Legras, P.A. Chernavskii, V.O. Kazak, C. Cordier, S. Paul, Ye Wang, A.Y. Khodakov. Support effects in high temperature Fischer-Tropsch synthesis on iron catalysts // Applied Catalysis A, General. – 2014. – Vol.488. – P. 66-77.

23. Д.А. Тараканов, Л.В. Синева, А.Ю. Крылова. Побочные реакции синтеза Фишера-Тропша: Реакция водяного газа // Катализ в промышленности. – 2016. – № 3. С. 18–24.
24. F.F. Ma, S.H. Ma, Z.Y. Jiao, X.Q. Dai. Adsorption and decomposition of H₂O on cobalt surfaces: A DFT study // Applied Surface Science. – 2016. – Vol.384. – P. 10-17.
25. Jun Cheng, Tao Song, P. Hu, C. Martin Lok, Peter Ellis, Sam French. A density functional theory study of the α -olefin selectivity in Fischer-Tropsch synthesis // Journal of catalysis. – 2008. – Vol.255. – P. 20-28.
26. Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555).
27. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340- 03: утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 13 июня 2003 г. № 118 г. Москва [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=707](http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=707).
28. Кушелев В.П., Орлов Г.Г., Сорокин Ю.Г. Охрана труда в нефтеперерабатывающей промышленности. // М: Недра, – 1983. – 472с.
29. Кукин П.П., Лапин В.Л., Пономарев Н.Л., Сердюк Н.И. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учеб. Пособие для вузов. // – 5-е изд., стер. М.: Высш. Шк., – 2009. – 335 с
30. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 утверждены Постановлением Госкомсанэпиднадзора России 31 октября 1996 г. № 36. Москва.

31. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий: санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.566-96: утверждены Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 31 октября 1996 г. № 40. Москва.
32. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
33. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148963/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148963/).
34. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 12 апреля 2011 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://www.rg.ru/2011/10/28/medosmotr-dok.html](http://www.rg.ru/2011/10/28/medosmotr-dok.html).
35. Технический регламент от 24 декабря 2009 г. О безопасности средств индивидуальной защиты [Электронный ресурс]. Режим доступа [www.URL: http://www.rg.ru/2010/03/30/tehreg-site-dok.html](http://www.rg.ru/2010/03/30/tehreg-site-dok.html).
36. ГОСТ 12.0.004-90. Организация обучения безопасности труда. 01.07.1991.– М.: Стандартинформ, – 2010. – 16 с.